ELEKTRISCHE NACHRICHTEN-TECHNIK

Unter Mitwirkung von: G. Graf v. Arco, H. Barkhausen, F. Breisig, K. Dohmen, A. Elfes, E. Falkenthal, E. Feyerabend, A. Franke, W. Hahnemann, J. Harbich, R. Hartz, H. Hecht, C. Hersen, K. Höpfner, A. Korn, A. Kruckow, A. Kunert, F. Lüschen, W. Ohnesorge, M. Reich, O. Reichenheim, H. Rukop, O. Scheller, W. Stäckel, H. C. Steidle, H. Thurn, K. Winnig, G. Zapf und J. Zenneck / Herausgegeben von K. W. Wagner / Schriftleiter: F. Moench und H. Salinger / Verlag der Weidmannschen Buchhandlung, Berlin SW68

HEFT 4 * APRIL 1929 * BAND 6

Transozeanische Fernsprechkabel.

(Mitteilung aus dem Heinrich Hertz-Institut für Schwingungsforschung.)

Von Karl Willy Wagner.

1. Allgemeines.

Die gegenwärtig lebende Generation ist der Zeuge unerhörter Fortschritte auf allen Gebieten des Verkehrs, einer Entwicklung, die die Entfernungen auf unserem Planeten mehr und mehr zusammenschrumpfen läßt. Ganz besonders gilt dies vom elektrischen Nachrichtenwesen. Die drahtlose Telegraphie ermöglicht heute die fast zeitlose Übermittlung von Nachrichten nach jedem beliebigen Punkt der Erde, und an sie pflegt man zuerst zu denken, wenn von den großen Fortschritten in der Nachrichtentechnik die Rede ist. Tatsächlich aber wickelt sich nur ein geringer Bruchteil des gesamten Nachrichtenverkehrs drahtlos ab, alles übrige geht über den Drahtweg. Das wird aller Voraussicht nach auch in absehbarer Zeit so bleiben, und zwar auch dann, wenn es einmal gelungen sein wird, die Zuverlässigkeit der drahtlosen Übermittlung auf die gleiche Höhe zu bringen, die dem Drahtweg eignet. Es liegt das einfach daran, daß durch den von allen drahtlosen Verbindungen gemeinsam benutzten Äther nur eine endliche Zahl von Nachrichtenimpulsen gleichzeitig störungsfrei übermittelt werden kann. Diese Zahl ist begrenzt durch den Wellenbereich, der für die Übertragung praktisch brauchbar ist. Bei dem ständig wachsenden Verkehrsbedürfnis muß dies notwendig dazu führen, daß der drahtlose Weg mehr und mehr für die Nachrichten vorbehalten bleibt, für die der Drahtweg aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen verschlossen ist; z. B. für Verbindungen nach beweglichen Stationen, etwa nach Fahrzeugen auf See und in der Luft, für den Rundfunk, Bildrundfunk und ähnliche Sonderzwecke, für militärische Bedürfnisse sowie für überseeische Verbindungen, die unter Bedingungen arbeiten, die eine Drahtverbindung unlohnend, unsicher oder schwierig machen. Im transozeanischen Telegraphenverkehr steht die drahtlose Telegraphie gegenwärtig im Wettkampf mit der älteren Seekabeltelegraphie. Bei dem derzeitigen Stand der Technik läßt sich die Entwicklung der Dinge auch für die nächste Zukunft kaum voraussehen; auf jeden Fall aber wird die Entscheidung von dem Umstande beeinflußt werden, daß der Drahtweg bei wachsendem Verkehr fast unbegrenzt ausgebaut werden kann, während das Fassungsvermögen des Ätherweges beschränkt ist.

Sehr bemerkenswert sind die Verhältnisse im Fernsprechverkehr. Während der Drahtweg heute jede beliebige Entfernung zu Lande zu überspannen vermag und auch die Binnenmeere überwindet, bildeten die Ozeane für ihn bis jetzt ein unüberschreitbares Hindernis. Es blieb der drahtlosen Telephonie vorbehalten, die ersten transozeanischen Fernsprechverbindungen zu verwirklichen. Nun gilt aber für das Fernsprechen mit und ohne Draht hinsichtlich der möglichen Verkehrsleistung dasselbe wie für die Telegraphie. Der Drahtweg kann, wenn er überhaupt gangbar ist, für beliebige Verkehrsleistungen ausgebaut werden, der drahtlose Weg jedoch nicht. Es lohnt sich daher, die Frage zu stellen, ob der Ozean für den Fernsprechdraht wirklich ein Hindernis bedeutet, das mit den heutigen technischen Mitteln nicht, oder jedenfalls nicht in wirtschaftlicher Weise bewältigt werden kann. Ich habe diese Frage eingehend untersucht und bin zu dem Ergebnis gelangt, daß es heute tech-

nisch möglich und wirtschaftlich lohnend ist, Europa mit Nord- und Südamerika durch Fernsprech-Seekabel zu verbinden. Hierüber wird im folgenden berichtet[1]).

2. Die Vorgeschichte.

Schon vor dem großen Weltkrieg ist das Problem des transozeanischen Fernsprechkabels in der Fachpresse einmal ausgiebig diskutiert worden[2]). Die Erörterungen drehten sich damals um den Vorschlag, zur Übertragung der Sprach- (und auch der Telegraphier-) Impulse hochfrequente Trägerströme durch die gewöhnlichen Guttaperchakabel zu schicken. Dieser Vorschlag konnte zu keinem praktischen Ergebnis führen, da für langsame Impulse und niedrige Trägerfrequenz die Verzerrung, dagegen für schnelle Impulse und entsprechend hohe Trägerfrequenz die Dämpfung viel zu hoch wird[3]). Die Richtung zur Lösung des Problems wies der damals auch schon ausgesprochene Gedanke, die Dämpfung des Kabels durch Pupinspulen zu vermindern; indessen führte die weitere Verfolgung dieses Gedankens abermals auf Schwierigkeiten, nämlich zur Erkenntnis, daß die dielektrischen Verluste in der Guttapercha eine praktische Mindestgrenze der Dämpfung bestimmen, die für die damals verfügbaren technischen Mittel unübersteiglich hoch war. Die weiteren Arbeiten bewegten sich daher in Richtung der Verminderung der dielektrischen Verluste; sie hatten insofern Erfolg, als in Mischungen von entharzter Guttapercha mit sogenannter grüner Guttapercha aus Blättern und mit entharzter Balata, ferner in dem Kunstprodukt Gutta-Gentzsch des Wiener Chemikers Adolf Gentzsch Stoffe gefunden wurden, die — zum mindesten in ihren elektrischen Eigenschaften — der gebräuchlichen Guttapercha weit überlegen waren[4]). Die Fortführung dieser Arbeiten wurde durch den Ausbruch des Krieges unterbunden.

Die Aufgabe, das durch den Krieg verlorene direkte Telegraphenkabel zwischen Deutschland und Amerika wiederherzustellen, lenkte die Gedanken auch wieder auf das Problem des transozeanischen Fernsprechkabels. Es erschien um so reizvoller, als durch die inzwischen geschehene Durchbildung der Elektronenröhren-Verstärker eine vollkommen neue Grundlage für alle technischen Überlegungen geschaffen war. Diese zeigten, daß sich das Problem jetzt auf die beiden folgenden Hauptpunkte konzentrierte:

1. auf die mechanische Aufgabe, Pupinspulen zu bauen, die dem hohen Wasserdruck am Boden der Tiefsee widerstehen, und ein mit solchen Spulen ausgerüstetes Kabel auszulegen;

2. auf die Verminderung der Kapazität des Kabels, wenn möglich bis auf den Betrag der Kapazität der gebräuchlichen Landfernsprechkabel mit loser Papierisolation.

3. Die Lösung der konstruktiven Probleme.

Die Bearbeitung der vorstehend unter Nr. 1 und 2 gekennzeichneten konstruktiven Aufgaben geschah unter der Initiative von Herrn Generaldirektor Dr. Zapf bei der Felten & Guilleaume Carlswerk A. G. in Köln-Mülheim und den mit ihr verbundenen Norddeutschen Seekabelwerken in Nordenham.

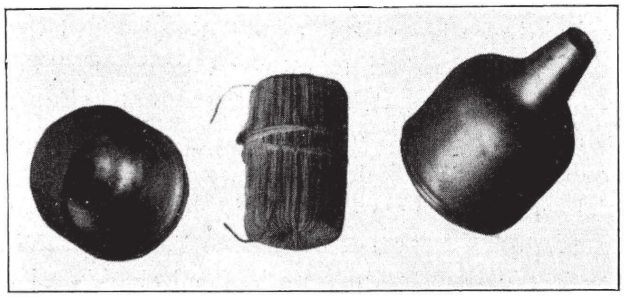

Abb. 1. Tiefsee-Telegraphenspule mit geöffnetem Druckschutzgehäuse.

Das Problem des pupinisierten Tiefseekabels hatte sich bereits aus dem Aufgabenkreis der Telegraphie ergeben; bei den Studien über den

[1]) Über den „Plan einer Fernsprechkabelverbindung zwischen Europa und Amerika" habe ich vor mehr als Jahresfrist (am 23. 2. 1928) in der Preußischen Akademie der Wissenschaften vorgetragen (Sitzungsberichte der phys.-math. Klasse 1928, S. 75; 1929, S. 109). Bezügl. der mechanischen Probleme siehe U. Meyer, ENT **4** (1927), S. 353; K. W. Wagner u. U. Meyer, Europ. Fernsprechdienst, Heft 11 (1929), S. 10.

[2]) Maior, ETZ 1907, S. 484; 1908, S. 1119; 1909, S. 902. Weinberg, ETZ 1909, S. 160; Béla Gáti, E. u. M. (Wien) 1909, S. 847; ETZ 1909, S. 926. Latour u. Maior, ETZ 1909, S. 1082. Karpen, „Comptes Rendus" 1909; Lum. électr. (II) **8** (1909), S. 307.

[3]) K. W. Wagner, „Die Aussichten der Telephonie und Schnelltelegraphie durch Ozeankabel", ETZ 1910, S. 163 u. 192.

[4]) K. W. Wagner, „Dielektrische Eigenschaften von verschiedenen Isolierstoffen", Arch. f. Elektrot. **3**, 1914, S. 67.

günstigsten Kabeltyp für die Telegraphenverbindung Deutschland—Nordamerika wurde auch ein Pupinkabel in Betracht gezogen. Für den erwähnten Zweck mußte es freilich ausscheiden,

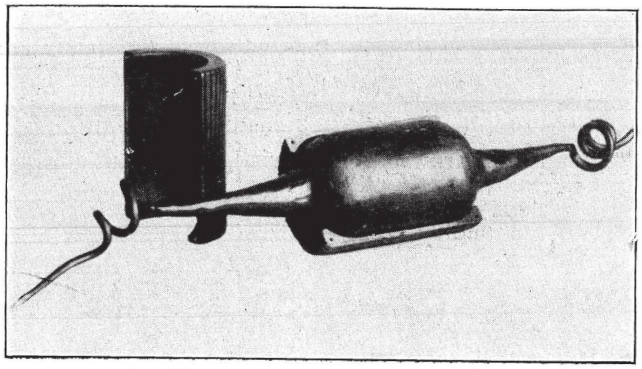

Abb. 2. Eingebaute Tiefseespule mit Ringträger für die Bewehrungsdrähte.

nachdem für die amerikanische Teilstrecke Azoren—New York seitens der Western Union Telegraph Company ein Krarupkabel mit Permalloy gewählt worden war; wegen des am Verbindungspunkt Horta vorgesehenen unmittelbaren Zusammenarbeitens der beiden Teilstrecken mußten diese gleichartige elektrische Eigenschaften erhalten. Die im Gange befindlichen Vorarbeiten für ein pupinisiertes Tiefseekabel wurden jedoch fortgeführt.

Damit die dem Kabel einzufügende Spule dem Wasserdruck standhält, wird sie in ein druckfestes Gehäuse eingebaut; der Leiter wird durch eine Art Stopfbuchse eingeführt. (Abb. 1.) Die Guttaperchaisolierung des Leiters setzt sich über den Druckkörper hinweg fort und bildet zugleich eine Dichtung gegen das Seewasser, welches z. B. Stahl etwas und Leichtmetall in höherem Maße angreift; außerdem sind diese Metalle unter sehr hohen Drucken auch nicht mehr vollkommen wasserdicht. Beiderseits des eigentlichen Spulenkörpers befinden sich Zusatzkörper, die den stetigen Übergang vom Kabeldurchmesser auf den größeren Durchmesser des Spulenkörpers vermitteln; über das ganze zieht sich die Bewehrung und gibt ihm die nötige Zugfestigkeit. Ein auf dem Spulen-

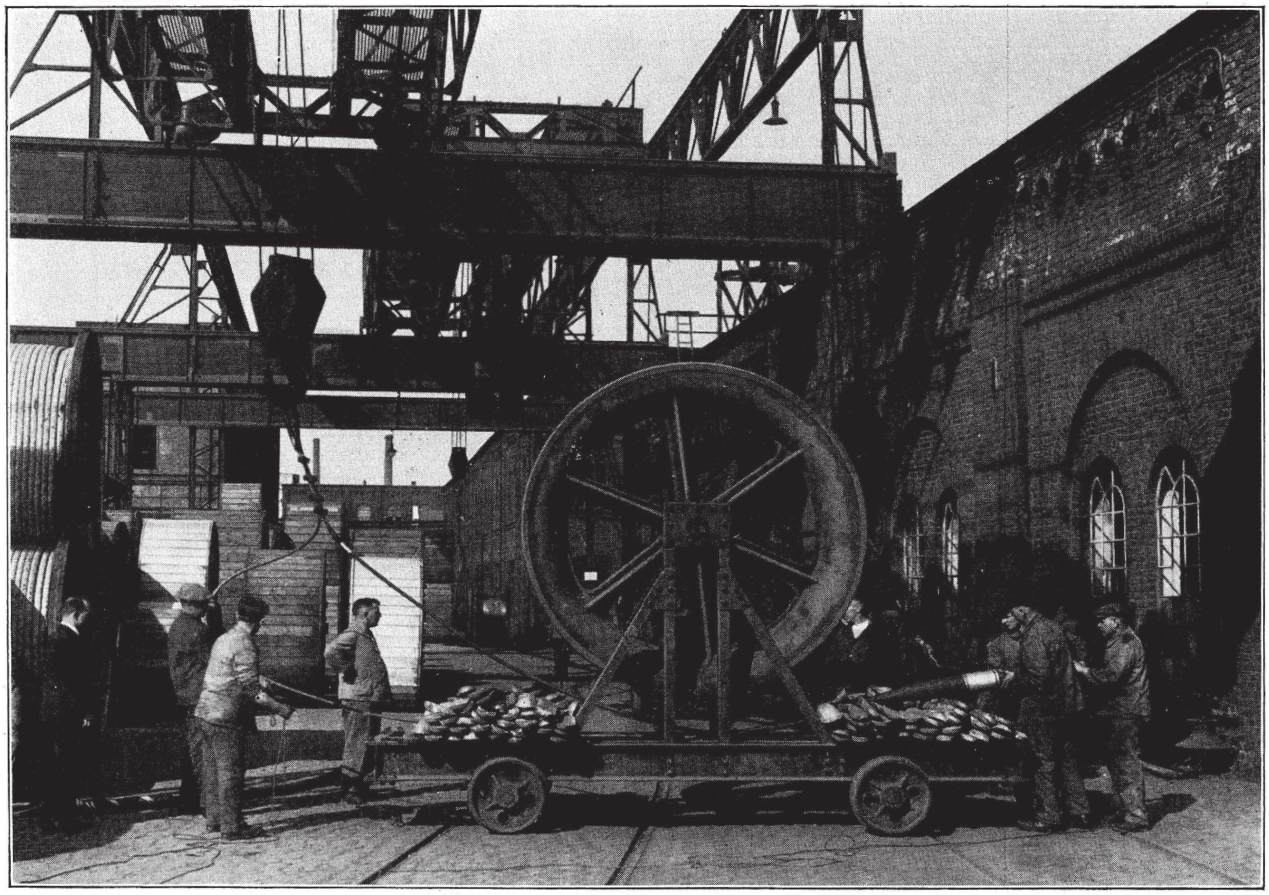

Abb. 3. Vorarbeiten zu einem Belastungsversuch des Kabels mit eingebauter Spulenmuffe.

körper befindlicher Ringkörper mit Längsnuten verleiht den Bewehrungsdrähten festen Halt und schützt zugleich die Oberfläche des Spulenkörpers gegen Beschädigung beim Auslegen des Kabels (Abb. 2).

Während der Verlegung wirkt auf das vom Schiff auslaufende Kabel ein Zug, der nach den Berechnungen von Werner Siemens[5]) ebenso

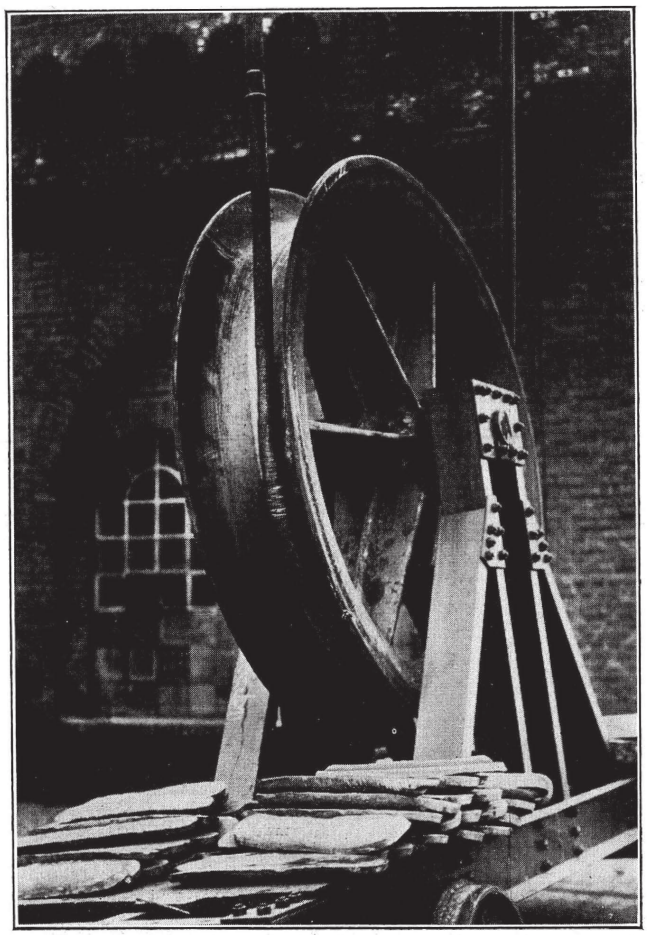

Abb. 4. Belastungsversuch des Kabels mit eingebauter Spule.

groß ist wie das um den Auftrieb verminderte Gewicht einer der Wassertiefe gleichen Kabellänge. Die größten auf den Kabelwegen durch den atlantischen Ozean vorkommenden Tiefen betragen rd. 5000 m; demgemäß sind für schwere Kabel Zugkräfte in der Größenordnung von 10 bis 15 t anzunehmen. Kabel und Spulenmuffen müssen diesen Zug aushalten. Am stärksten wird die Spulenmuffe beansprucht, während sie über die Auslegescheibe läuft. Bild 3 und 4 zeigen die Anordnung, mit der das Kabel mit eingebauter Spulenmuffe in der Fabrik mechanisch geprüft wurde. Das Kabel wird unter der vorkommenden Belastung über einer Rolle hin- und hergezogen. Das geschieht so, daß jedes Kabelende an je einem Kran befestigt ist und an dem Kabel die mit Bleibarren belastete Scheibe hängt; während ein Kran gesenkt wird, wird der andere gehoben.

Diese zunächst für pupinisierte Telegraphenkabel durchgeführten Entwicklungsarbeiten bilden natürlich auch die Grundlage für die Herstellung von Tiefseespulen für Fernsprechkabel.

Beim Bau des neuen Kabeldampfers „Neptun"[6]) (Abb. 5) ist von vornherein darauf Bedacht genommen worden, den Dampfer mit den Einrichtungen für die Auslegung besonders schwerer Kabel auszurüsten. Abb. 6 zeigt die Kabelverlegemaschine; der Durchmesser der Scheibe beträgt 3 m.

Zur Verminderung der Kapazität des Kabels wurde zunächst versucht, die Leiter mit einer festgewickelten Isolierung aus trockenem, ungetränktem Papier zu versehen und diese durch einen Bleimantel zu schützen. Es zeigte sich jedoch, daß unter hohem Druck, wie er am Boden der Tiefsee herrscht, das Papier so fest zusammengepreßt wird, daß seine Dielektrizitätskonstante die der Guttapercha noch übersteigt; auch die Ableitung wächst sehr stark an.

Für Fernsprechverbindungen durch die Flachsee verwendet man bekanntlich Kabel, die nach Art der Landfernsprechkabel mit loser Papierbewicklung isoliert und mit einem Bleimantel versehen sind. Damit dieser dem Wasserdruck standhält, bewickelt man die Kabelseele unterhalb des Bleimantels mit einer Stahldrahtspirale (Abb. 7 und 8). Diese Bauweise wurde zuerst von Siemens & Halske in dem 1906 durch den Bodensee in Tiefen bis 250 m verlegten Fernsprechkabel[7]) benutzt und hat sich seitdem bestens bewährt. A. Ebeling gibt a. a. O. an, daß das Bodenseekabel einem Druck von 150 Atmosphären noch widersteht. Bei höheren Drucken wird jedoch das Blei zwischen die Windungen der Spirale

[5]) Monatsber. der Kgl. Preuß. Akademie der Wissenschaften, phys.-math. Kl. v. 17. Dez. 1874; Wissenschaftl. und techn. Arbeiten Bd. 1 (1889), S. 234.

[6]) VDI-Zeitschrift 1927, S. 92; ENT 4 (1927), S. 154.

[7]) A. Ebeling, ETZ 1907, S. 661.

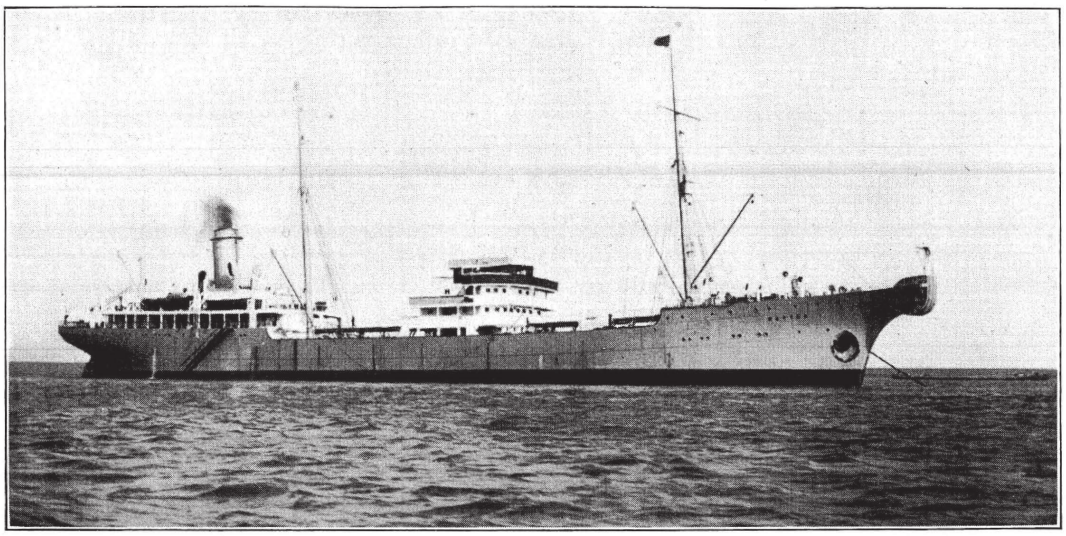

Abb. 5. Kabeldampfer „Neptun".

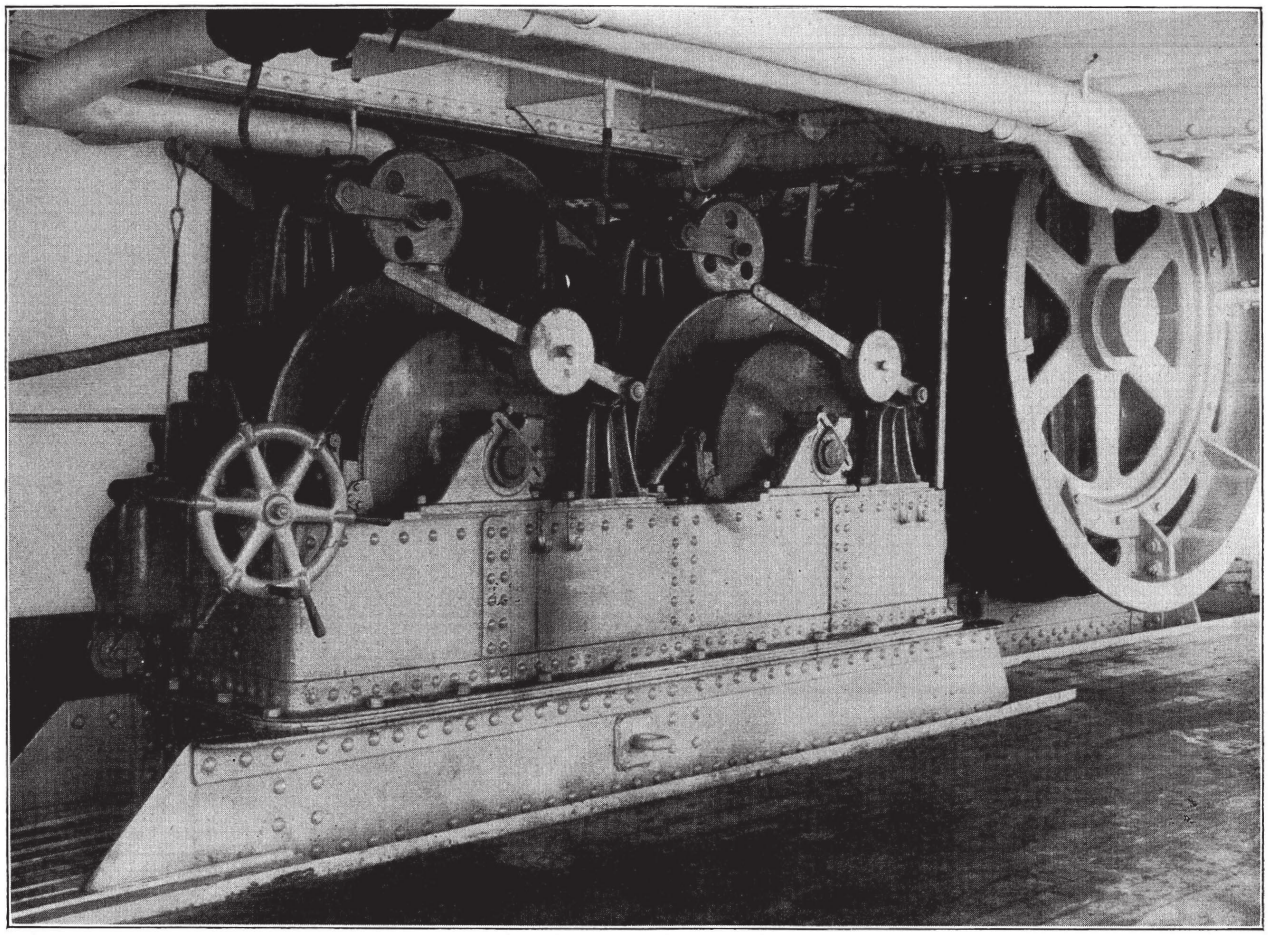

Abb. 6. Kabelverlegemaschine auf dem „Neptun".

gepreßt. Um dies zu verhindern, wurde über die Stahldrahtspirale zunächst ein Polster gelegt und über dieses der Bleimantel gezogen. Es gelang so, die Druckfestigkeit erheblich zu steigern, während die Biegsamkeit noch genügend gewahrt blieb. Aber selbst mit zwei übereinanderliegenden und entgegengesetzt geschlagenen Druckspiralen ließ sich die für 5000 m Wassertiefe erforderliche Druckfestigkeit nicht erreichen; die Spiralen wurden schließlich seitlich zusammengedrückt.

Da kam Dr. Zapf auf den kühnen Gedanken, den Druckschutz als biegsames und wasserdichtes Hohlseil zu bauen. Abb. 9 zeigt die von ihm angegebene Konstruktion. Das Hohlseil besteht aus keilförmigen Profildrähten aus Leichtmetall; in den seitlich ausgesparten Nuten liegen Runddrähte; die hierdurch bewirkte Verzahnung gibt dem Hohlseilgewölbe festen Halt. Vor dem Angriff des Seewassers ist das Hohlseil durch einen darüber gezogenen Bleimantel geschützt, der es auch vollkommen wasserdicht macht. Die in der Fabrik ausgeführten Druckversuche haben gezeigt, daß solche Hohlseile dem Druck von 600 Atmosphären in 6000 m Wassertiefe widerstehen, und daß man sogar auf die Verzahnung verzichten kann, wenn die lichte Weite des Rohres höchstens 60 % des Außendurchmessers beträgt. Ferner wurde durch Färbung des Druckwassers mit Anilinfarben nachgewiesen, daß Blei — im Gegensatz zu Stahl und verschiedenen anderen Metallen — auch bei den höchsten angewendeten Drucken vollkommen wasserdicht ist; es konnten innerhalb des Bleies nicht die geringsten Spuren von Färbung festgestellt werden. Hinsichtlich der Einzelheiten dieser Druckversuche wird auf die bereits angeführte Veröffentlichung verwiesen[8]).

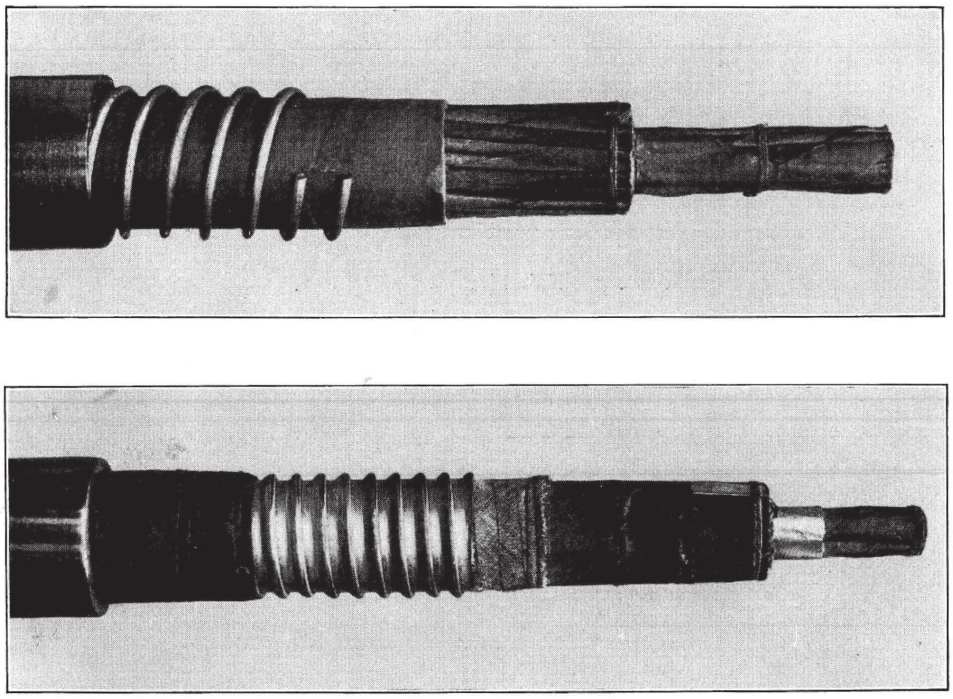

Abb. 7. u. 8. Papierbleikabel für die Flachsee mit Stahldrahtspirale als Druckschutz.

In dem Hohlraum des Zapfschen Seils können die gewöhnlichen, mit losem Papier isolierten Fernsprechadern untergebracht werden, so daß auf diese Art die Kapazität auf den niedrigen Wert der Landfernsprechkabel herabgesetzt ist. Abb. 10 zeigt den Querschnitt eines solchen Tiefseekabels. In dem hier betrachteten Falle ist aus den noch zu erörternden Gründen nur ein Vierer vorgesehen. Außen trägt das Hohlseil ein Jutepolster und darüber die Bewehrungsdrähte. In dem Falle des Papierkabels werden die Pupinspulen verhältnismäßig leicht. Die Spulenmuffen bleiben dann in ihren Abmessungen so klein, daß sie ohne besondere Maßnahmen glatt über

[8]) K. W. Wagner u. U. Meyer, Europ. Fsp.-Dienst Heft 11 (1929).

die Auslegescheiben des Verlegungsschiffes hinweglaufen. Bei einem Kabel mit mehreren Vierern wird man die Spulen auf mehrere Muffen verteilen.

Der Hohlraum des Spulengehäuses steht mit dem Hohlraum der angeschlossenen Kabelstücke nicht in Verbindung; diese Hohlräume sind vielmehr druckfest gegeneinander abgeschlossen, so

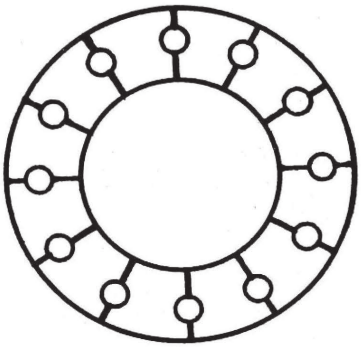

Abb. 9. Querschnitt eines biegsamen und wasserdichten, druckfesten Hohlseils nach Dr. Zapf.

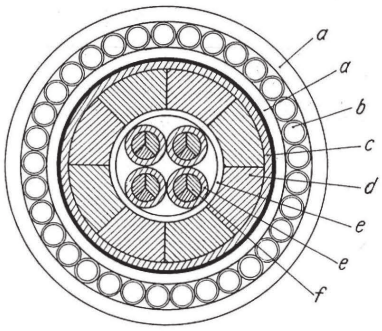

Abb. 10. Querschnitt eines Tiefsee-Fernsprechkabels (natürliche Größe).
a Jutepolster. *b* Bewehrungsdrähte. *c* Bleimantel. *d* Hohlseil. *e* Papierisolierung. *f* Kupferleiter.

daß bei einem Fehler in einem Kabelfeld oder in einer Spulenmuffe der Schaden auf das betroffene Stück beschränkt bleibt. Bei der Instandsetzung ist stets eine ganze Zahl von Spulenfeldern auszuwechseln.

4. Die elektrischen Eigenschaften.

Im folgenden wird untersucht, ob sich auf der vorstehend geschilderten konstruktiven Grundlage praktisch brauchbare elektrische Eigenschaften für transozeanische Fernsprechkabel ergeben.

Die vom Standpunkte des Verkehrs wichtigsten und daher auch wirtschaftlich lohnendsten Verbindungen sind die zwischen dem europäischen und dem amerikanischen Festland (Abb. 11). Der günstigste Kabelweg, d. i. der mit den kürzesten Teilstrecken, wäre der Weg durch das nördliche Polargebiet (England—Fär-ör—Island—Grönland—Labrador). Dieser Weg muß aber außer Betracht bleiben, da die Instandhaltung der Verbindung während des langen Polarwinters nicht gesichert ist. Der nächstgünstige Weg nach Nordamerika führt etwa von Lissabon über die westlichste Azoreninsel Flores nach St. Johns (Neufundland) und von dort nach Canso (Neuschottland), wo der Anschluß an die Landlinien des amerikanischen Kontinents erreicht wird. Die drei Teilstrecken sind abgerundet 2000 km, 2000 km und 1000 km lang.

Für den direkten Weg nach Südamerika kommt die Linie Cadiz—Teneriffa (Kanarische Inseln)—São Thiago (Kapverdische Inseln) — Fernando Noronha—Pernambuco in Betracht, wenn man nicht eine Landlinie durch Afrika mit dem Anschluß nach São Thiago einschalten will. Auf jeden Fall beträgt die längste Seekabelstrecke dieser Linie, die Strecke São Thiago—Fernando Noronha 2400 km.

Die Bemessung des Kabels wird bestimmt durch den höchsten Dämpfungswert, den man zuläßt. Nun kann man zwar sehr hohe Dämpfungswerte durch entsprechend hohe Verstärkungen aufheben. Eine Grenze ist jedoch durch den sogenannten Störungsspiegel gegeben, das ist die durchschnittliche Höhe der durch fremde elektromagnetische Felder in dem Kabelstromkreis hervorgerufenen Störungsströme bzw. Störungsspannungen innerhalb des betriebsmäßig benutzten Frequenzbandes. Ein zuverlässiges Urteil über die Höhe des in einem Kabel der hier betrachteten Bauart zu erwartenden Störungsspiegels wird erst die praktische Erfahrung liefern; daher muß man bei dem ersten Entwurf eines solchen Kabels mit großer Sicherheit rechnen. Einen Anhaltspunkt für die Schätzung geben die bekannten Verhältnisse bei unterseeischen Telegraphenkabeln. Hier hat die Erfahrung gelehrt, daß man eine Dämpfung bis zu 10 Neper praktisch gut überwindet; d. h. arbeitet man mit einer Zeichengeschwindigkeit, bei der die höchsten für die Zeichenbildung nötigen Frequenzen mit 10 Neper gedämpft werden, so liegt man noch hinreichend hoch über dem Störungsspiegel, so daß die Störungen die Aufnahme der Zeichen noch nicht beeinträchtigen.

Dämpfung, so rechnet man mit einer entsprechend hohen Sicherheit.

Die Dämpfung eines Kabels wächst bekanntlich mit steigender Frequenz. Der zugelassene Höchstwert soll für die höchste noch zu übertragende Frequenz gelten. Diese nehmen wir zu 2400 Hertz an und dürfen hiermit nach den Erfahrungen der praktischen Telephonie mit einer völlig ausreichenden Sprachverständlichkeit rechnen.

Die geforderte Dämpfung läßt sich bei der gegebenen Teilstreckenlänge nur mit einem induktiv belasteten Kabel erzielen. Zur Erhöhung der Induktivität bieten sich bekanntlich zwei Wege: entweder die Umhüllung des Leiters mit einer ferromagnetischen Schicht nach Krarup oder die Einschaltung von Induktionsspulen in regelmäßigen Abständen nach Pupin. Eine besondere Untersuchung, auf deren Wiedergabe hier verzichtet wird, lehrt, daß man mit den heute bekannten ferromagnetischen Stoffen zu weniger günstigen Kabelabmessungen nach dem Kraruptyp gelangt, als wenn man Pupinspulen einschaltet. Daher soll dieser Fall der weiteren Betrachtung zugrunde gelegt werden.

Maßgebend für die Bemessung eines mit Pupinspulen belasteten Kabels sind bei gegebener Dämpfung die folgenden Größen:

a) **die Grenzfrequenz,**
b) **die Kapazität und die Ableitung,**
c) **die Zeitkonstante der Spulen.**

Ihr Einfluß drückt sich in den folgenden Formeln aus.

Es sei

f die Betriebsfrequenz,

$\omega = 2\pi f$ die Kreisfrequenz;

f_0 die Grenzfrequenz, $\omega_0 = 2\pi f_0$, und

$\eta = \frac{f}{f_0} = \frac{\omega}{\omega_0}$ das Frequenzverhältnis.

Ferner seien die auf 1 km Kabellänge bezogenen Leitungskonstanten:

R der ohmsche Widerstand, C die Kapazität,
L die Induktivität, G die Ableitung.

Weiter seien bezeichnet mit

s der Spulenabstand,
L_s die Induktivität einer Spule,
R_s der Wirkwiderstand einer Spule.

Daraus ergeben sich

$L_z = L_s/s$, die von den Spulen oder von einer Kraruphülle herrührende, auf 1 km Kabellänge bezogene Zusatzinduktivität.

$R_z = R_s/s$, der entsprechende Zusatzwiderstand.

$$\tau = \frac{L_s}{R_s} = \frac{L_z}{R_z}$$

ist die Zeitkonstante der Spulen bzw. der Kraruphülle.

Die Dämpfungskonstante β des Kabels, d. i. das Dämpfungsmaß je Kilometer, hängt unter sonst gleichen Umständen von der induktiven Belastung des Kabels ab und hat bekanntlich für eine bestimmte Belastung ein Minimum. Bei einem Kabel mit stetig verteilter Belastung betrüge dieses Minimum

$$\beta_{\min} = \sqrt{\left(R - \frac{L}{\tau}\right)\left(G + \frac{C}{\tau}\right)}.$$

Ist aber, wie bei einem Spulenkabel, die Induktivität punktförmig verteilt, so gilt

$$\beta = \frac{\beta'}{\sqrt{1 - \eta^2}}. \qquad (1)$$

Das Minimum von β' ist jetzt aus der Formel zu bestimmen

$$\beta'_{\min} = \sqrt{\left(R' - \frac{L}{\tau}\right)\left(G + \frac{C}{\tau}\right)} \qquad (2)$$

mit

$$R' = R\left(1 - \frac{2}{3}\eta^2\right). \qquad (3)$$

Die durch (2) gegebene Mindestdämpfung tritt für eine Belastung ein, die dem Kabel mit stetig verteilter Induktivität einen Wellenwiderstand vom Betrage

$$Z'_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{R - \frac{L}{\tau}}{G + \frac{C}{\tau}}} = \sqrt{\frac{L + L_z}{C}} \qquad (4)$$

erteilen würde. Der Wellenwiderstand des wirklichen Spulenkabels berechnet sich nach bekannten Regeln aus Z'_{opt} durch Multiplikation mit einem Faktor, der von dem Anlauf des Kabels abhängt und im allgemeinen komplex ist. Außerdem muß in (4) für R der Wert R' gemäß Gl. (3) eingesetzt werden.

Um nun nach diesen Formeln die Abmessungen des Kabels zu bestimmen, bedarf es der Festsetzung der vorher unter a bis c genannten Größen. Für diese Festsetzungen besteht zwar eine gewisse Bewegungsfreiheit, allerdings nur in verhältnismäßig engen Grenzen, und insoweit kommt man je nach Wahl der Größen unter a bis c zu verschiedenen Kabeltypen. Die im fol-

Rechnen wir für das Fernsprechkabel ebenfalls mit 10 Neper Höchstdämpfung, so haben wir gegenüber dem Falle des Telegraphenkabels in dreifacher Hinsicht eine höhere Sicherheit:

1. Dadurch, daß der Fernsprechstromkreis zweiadrig verdrillt mit isolierter Rückleitung geführt ist, werden die in ihm induzierten Störungen sehr viel kleiner als in dem einadrigen Telegraphenstromkreis mit der Rückleitung durch die Erde;
2. die Störungen durch äußere Felder werden außerdem durch das starkwandige Hohlseil aus gutleitendem Metall abgeschirmt;
3. der Fernsprechbetrieb ist an sich gegen vereinzelt auftretende Störgeräusche unempfindlicher als der Telegraphenbetrieb mit seinem mechanisch arbeitenden Empfangsapparat, bei dem fast jeder Störimpuls von der Stärke der Zeichen ein falsches Zeichen hervorruft.

Man macht sich wohl kaum einer Übertreibung schuldig, wenn man den Schutzwert der unter 1 und 2 angeführten Umstände zu mindestens 6 bis 8 Neper einschätzt, so daß man — ohne Rücksicht auf Punkt 3 — bei einer Kabeldämpfung von 16 bis 18 Neper den Fernsprechbetrieb mit der gleichen Sicherheit gegen Außenstörungen durchführen könnte wie den Telegraphenbetrieb in den gebräuchlichen Telegraphenkabeln. Baut man das Fernsprechkabel aber nur mit 10 bis 12 Neper

Abb. 11. Übersichtskarte mit den Kabelwegen der Fernsprechverbindungen von Europa nach Nord- und Südamerika.

genden getroffene Wahl der genannten Größen entspricht dem, was die Technik heute leisten kann. Doch kommt den hier angegebenen Zahlenwerten nur der Charakter eines Beispiels zu. Bei der wirklichen Ausführung eines Kabels werden sich je nach den besonderen Bedingungen des vorliegenden Falles die Zahlenwerte und damit die Abmessungen des Kabels nach der einen oder anderen Richtung verschieben können.

a) Was zunächst die Grenzfrequenz f_0 angeht, so muß diese selbstverständlich oberhalb der höchsten noch zu übertragenden Frequenz, hier also oberhalb 2400 Hertz, liegen. Das Kabel wird um so leichter und billiger, je niedriger f_0 gewählt wird; eine untere Grenze wird durch die Dämpfungsverzerrung gemäß Gl. (1) bis (3) und durch die praktische Dauer T des Einschwingvorgangs bei der höchsten zu übertragenden Frequenz gesetzt. Es ist

$$T = \frac{l}{\pi s f_0}\left[\frac{1}{\sqrt{1-\eta^2}} - 1\right], \qquad (5)$$

wo l die Kabellänge bedeutet. Zwischen dem Spulenabstand s und der Grenzfrequenz f_0 besteht die Beziehung

$$f_0 = \frac{1}{\pi s \sqrt{L_z C}}. \qquad (6)$$

Die Dämpfungsverzerrung kann durch einen Dämpfungsausgleich in den Verstärkern aufgehoben werden. Der Verzerrung durch den Einschwingvorgang kann man entweder dadurch begegnen, daß man T genügend klein wählt, oder durch den sogenannten Phasenausgleich[9]). Was den ersten Punkt angeht, so hat die Erfahrung gelehrt, daß die Einschwingvorgänge bei 5 Millisekunden Dauer kaum merkbar und bei 10 ms Dauer noch erträglich sind, jedenfalls die Sprachverständlichkeit noch nicht meßbar beeinträchtigen.

Auf Grund dieser Überlegungen ergibt sich aus den vorstehenden Formeln, daß die Grenzfrequenz im vorliegenden Falle zweckmäßig zu

$$f_0 = 4800 \text{ Hertz} \qquad (7)$$

zu wählen ist. Dann wird für die höchste zu übertragende Frequenz[10]) von 2400 Hertz das Frequenzverhältnis $\eta = 0{,}5$.

b) Zur guten Raumausnutzung im Hohlseil und auch aus den noch zu erörternden Gründen ist es zweckmäßig, mindestens einen Vierer vorzusehen, entsprechend der Querschnittszeichnung Abb. 10. Bei der sich ergebenden Leiterstärke in der Größenordnung von 3 mm Durchmesser und der vorgesehenen Papierisolation wird die Kapazität einer Doppelleitung etwa

$$C = 0{,}045\ \mu\text{F/km}. \qquad (8)$$

Die Ableitung ist durch die dielektrischen Verluste im Isoliermaterial bestimmt und mittels der Formel

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta \qquad (9)$$

zu berechnen. Der dielektrische Verlustfaktor $\operatorname{tg}\delta$ hängt etwas von der Frequenz ab; er beträgt für die Papierisolation von Fernsprechkabeln für

$$\left.\begin{array}{ll} f = 200 \text{ Hertz} & \operatorname{tg}\delta = 2{,}2 \cdot 10^{-3} \\ f = 800 \text{ Hertz} & \operatorname{tg}\delta = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \\ f = 1600 \text{ Hertz} & \operatorname{tg}\delta = 2{,}8 \cdot 10^{-3} \\ f = 2400 \text{ Hertz} & \operatorname{tg}\delta = 3{,}1 \cdot 10^{-3} \end{array}\right\}. \qquad (10)$$

c) Die Zeitkonstante τ der Spulen wird um so günstiger, d. h. größer, je größer man die Spulen baut, d. h. je mehr Eisen und Kupfer man aufwendet. Im Falle des Seekabels möchte man die Spulen möglichst klein wählen, weil die Schwierigkeiten der Verlegung mit der Größe der Spulenmuffen wachsen. Außerdem hängt die Zeitkonstante natürlich in hohem Maße von den Eigenschaften des verwendeten Eisens ab; diese bestimmen namentlich auch die Abhängigkeit der Zeitkonstante von der Frequenz, auf die es hier sehr ankommt. Aus diesen Erwägungen und unter Benutzung der vorhandenen Baustoffe gelangt man etwa zu folgenden Werten der Zeitkonstante für

$$\left.\begin{array}{ll} f = 200 \text{ Hertz} & \tau = 0{,}0233 \\ f = 800 \text{ Hertz} & \tau = 0{,}0218 \\ f = 1600 \text{ Hertz} & \tau = 0{,}0188 \\ f = 2400 \text{ Hertz} & \tau = 0{,}0153 \end{array}\right\}. \qquad (11)$$

Hiermit sind nun die Unterlagen für eine Berechnung der günstigsten Kabelabmessungen gegeben.

---

[9]) K. Küpfmüller und H. F. Mayer: „Über Einschwingvorgänge in Pupinleitungen und ihre Verminderung", Wissenschaftl. Veröff. a. d. Siemens-Konzern Bd. 5 (1926), S. 51.

[10]) Die höheren Frequenzen der Sprachlaute, die erfahrungsgemäß zur Sprachverständlichkeit nichts Wesentliches mehr beitragen, werden durch Frequenzsiebe unterdrückt, damit die in diesem Frequenzgebiet unvermeidlichen Unvollkommenheiten der Übertragung (Einschwingvorgänge, Rückkopplung, Pfeifneigung der Verstärker) nicht stören.

Für das Kabel Europa—Nordamerika schreiben wir den Dämpfungswert $b = 10$ Neper bei 2400 Hertz für die beiden längsten Teilstrecken vor. Ihre Länge ist 2000 km, die spezifische Dämpfung muß also

$$\beta = 0{,}005$$

betragen. Mit $\eta = 0{,}5$ ergibt sich aus Gl. (1)

$$\beta' = 0{,}00433.$$

Bei günstigster Bemessung ist dies zugleich der Minimalwert gemäß Gl. (2); wir benutzen diese Gleichung zur Berechnung von R'. Aus (8) bis (11) ergibt sich zunächst

$$G + \frac{C}{\tau} = 5{,}03 \cdot 10^{-6}.$$

Die Induktivität L des unbelasteten Kabels beträgt rd. $7 \cdot 10^{-4}$ Henry/km; auf den genauen Betrag kommt es nicht an, weil die natürliche Induktivität L neben der Zusatzinduktivität L_z nur eine geringfügige Korrektion bedeutet.

Hiermit ergibt sich aus Gl. (2) zunächst $R' = 3{,}776$ Ohm/km und weiter aus (3) der Leitungswiderstand

$$R = 4{,}52 \text{ Ohm/km.} \qquad (12)$$

Bei der am Meeresboden herrschenden Durchschnittstemperatur von 4° C ist die Leitfähigkeit des Kupfers zu 60 m/Ω mm² anzunehmen, woraus sich eine Drahtstärke von 3,06 mm berechnet.

Die beiden ersten Ausdrücke von Gl. (4) ergeben mit $R' - \frac{L}{\tau} = 3{,}73$ und $G + \frac{C}{\tau} = 5{,}03 \cdot 10^{-6}$ den Wellenwiderstand des äquivalenten homogenen Kabels

$$Z'_{opt} = 742 \text{ Ohm};$$

der dritte Ausdruck von (4) liefert hiermit die erforderliche Zusatzinduktivität

$$L_z = 0{,}0241 \text{ Henry/km.} \qquad (13)$$

Die Gl. (6) bestimmt den Spulenabstand:

$$s = 2{,}025 \text{ km.} \qquad (14)$$

Demnach sind Spulen mit der Induktivität $L_s = s\,L_z = 0{,}049$ Henry einzuschalten.

Wir berechnen jetzt noch die Dämpfung bei einigen anderen Frequenzen des zu übertragenden Frequenzbandes. Innerhalb des ganzen Bereiches von 200 bis 2400 Hertz gilt genügend genau die Formel (1) mit

$$\left.\begin{aligned} \beta' &= \frac{R_z + R'}{2Z} + \frac{GZ}{2} \quad \text{oder} \\ \beta' &= \beta'_R + \beta'_G \end{aligned}\right\}. \qquad (15)$$

Für Z ist der vorher mit Z'_{opt} bezeichnete Wert 742 Ohm einzusetzen.

Die Berechnungsergebnisse sind aus der nachstehenden Tafel ersichtlich:

$f =$	200	800	1 600	2 400
$\omega =$	1 250	5 000	10 000	15 000
$10^6\,G =$	0,124	0,562	1,26	2,09
$1000\,\beta'_G =$	0,046	0,209	0,468	0,776
$\eta =$	0,0417	0,167	0,333	0,5
$R' = R\left(1 - \frac{2}{3}\eta^2\right) =$	4,52	4,45	4,185	3,766
$R_z = \frac{L_z}{\tau} =$	1,03	1,10	1,28	1,575
$R' + R_z =$	5,55	5,55	5,46	5,34
$1000\,\beta'_R =$	3,74	3,74	3,68	3,60
$1000\,\beta' =$	3,79	3,95	4,15	4,38
$1000\,\beta =$	3,79	4,00	4,40	5,05
$b =$	7,58	8,00	8,80	10,1

Der Dämpfungsunterschied zwischen der oberen und der unteren Grenze des zu übertragenden Frequenzbandes, $\Delta b = 10{,}1 - 7{,}6 = 2{,}5$ Neper, ist durch einen entsprechenden Ausgleich in den Verstärkern zu beseitigen, um eine unverzerrte Sprachübertragung zu erzielen.

Nach Gl. (5) wird die Einschwingdauer für die obere Grenze $f = 2400$ des übertragenen Frequenzbandes am größten. Der sich ergebende Wert

$$\tau = 10{,}1 \text{ Millisekunden} \qquad (16)$$

dürfte noch als zulässig erachtet werden; eine etwa für erwünscht gehaltene Verkleinerung, z. B. auf $\tau = 5$ ms, wäre mittels Phasenausgleichs ohne weiteres möglich; auch durch Wahl einer etwas höheren Grenzfrequenz läßt sich die Dauer des Einschwingens herabsetzen.

5. Die Betriebsweise des Seekabels.

Es ist nun weiter zu untersuchen, wie ein Kabel mit den vorstehend angegebenen elektrischen Eigenschaften zweckmäßig zu betreiben ist.

Von den beiden Schaltungen für Leitungen mit Verstärkern, der Zweidrahtschaltung und der Vierdrahtschaltung, wäre in dem vorliegenden Falle, wo die Verstärkerpunkte an den Enden der Teilstrecken von vornherein festliegen, die Zweidrahtschaltung vorzuziehen, weil sie für eine gegebene Zahl von Verbindungen den geringsten Querschnittsraum beansprucht. Allerdings würde

der Betrieb in der Zweidrahtschaltung, wo also dieselbe Doppelleitung zum Hin- und Hersprechen verwendet wird, durch Rückkopplung und Echos in höherem Maße gefährdet sein. Die Verhältnisse liegen hier ähnlich wie beim drahtlosen Gegensprechen auf einer Welle, während die Vierdrahtschaltung dem drahtlosen Gegensprechen auf zwei verschiedenen Wellen etwa entspricht. Nachdem aber bei der drahtlosen Telephonie die technische Aufgabe des Gegensprechens auf derselben Welle befriedigend gelöst ist[11]), werden Rückkopplung und Echos im Zweidrahtbetrieb im Kabel erst recht keine Schwierigkeit bereiten, da der Pegelunterschied zwischen Sende- und Empfangsleistung hier viel kleiner ist.

Die Frage, Zweidraht- oder Vierdrahtbetrieb, tritt nur auf, wenn dasselbe Kabel Stromkreise

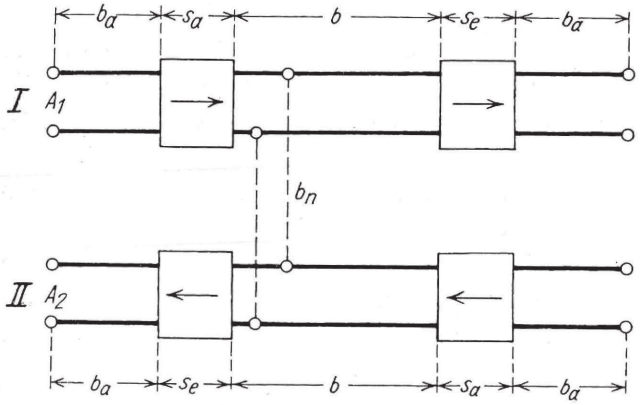

Abb. 12. Zur Veranschaulichung des Nebensprechens zwischen zwei verschiedenen Fernsprechkreisen im Kabel.

für mehrere gleichzeitig zu führende Gespräche enthält. In diesem Falle entstehen nun unter den hier betrachteten Verhältnissen durch das Nebensprechen erhebliche Schwierigkeiten, die von der erforderlichen hohen Verstärkung herrühren[12]). Wir erläutern diese Verhältnisse an Hand der Abb. 12, und zwar beispielsweise für den Fall, daß in der einen Verbindung I links (bei A_1) gesprochen und in einer zweiten Verbindung II gleichzeitig links (bei A_2) gehört wird. Ist b die Dämpfung des Kabels, b_a die Dämpfung der beiderseits angeschlossenen Leitungen (diese der Einfachheit wegen als gleich angenommen), s_a die Anfangs- und s_e die Endverstärkung, und will man, wie üblich, eine Restdämpfung $b = 1$ erzielen, so gilt, wie Abb. 12 ohne weiteres lehrt,

$$b + 2\,b_a - s_a - s_e = 1{,}0 \qquad (17)$$

Es sei b_n die Nebensprechdämpfung im Kabel; man kann sie durch die in der Abb. 12 punktiert gezeichnete unmittelbare Querverbindung zwischen I und II veranschaulichen. Der durch das Nebensprechen gebildete Kanal zwischen den Leitungsenden A_1 und A_2 hat nach Abb. 12 die Dämpfung

$$b_k = 2\,b_a - s_a - s_e + b_n \qquad (18)$$

Aus (17) und (18) folgt

$$b_k = 1{,}0 - b + b_n \qquad (19)$$

Damit sich das Nebensprechen nicht störend bemerkbar macht, darf b_k einen gewissen Mindestwert nicht unterschreiten. Für die Landleitungen des Fernsprechweitverkehrs verlangt man $b_k \geqq 7{,}5$; das Seekabel soll nicht schlechter sein. Daher ergibt sich aus (19) mit $b = 10$, daß die Nebensprechdämpfung zwischen den Kabelstromkreisen

$$b_n \geqq 16{,}5 \qquad (20)$$

sein soll. Es liegen noch nicht genügend Erfahrungen vor, ob man so große Nebensprechdämpfungen in dem Seekabel mit Sicherheit erzielen kann. Daher erscheint es empfehlenswert, in dem Kabel vorläufig nur eine Sprechverbindung vorzusehen. Hiermit ist nun auch die Frage der Betriebsschaltung praktisch entschieden. Zur guten Ausnutzung des Hohlseilquerschnitts wird man mindestens einen Vierer darin unterbringen; nach dem vorher Ausgeführten ist dieser in Vierdrahtschaltung zu betreiben.

Die Wirtschaftlichkeit des Kabels wird wesentlich beeinflußt durch den Umstand, daß man es gleichzeitig zum Telegraphieren benutzen kann. In Betracht kommt zunächst das Verfahren der Unterlagerungstelegraphie. Erfahrungsgemäß genügt zum Fernsprechen das Frequenzband von 300 Hertz aufwärts. Durch eine aus Tiefpaß (Spulenkette) und Hochpaß (Kondensatorkette) gebildete elektrische Weiche kann man das Frequenzband von etwa 200 Hertz abwärts zur Telegraphie nutzbar machen. Auf diesem Band lassen sich unter Verwendung von rotierenden Verteilern 10 Telegraphierkanäle einrichten, von denen jeder mit 300 Zeichen/Minute eines nach dem Fünferalphabet arbeitenden Drucktelegraphen betrieben werden kann:

$$10 \times 300\,\frac{\text{Zeichen}}{\text{min}} = 50\,\frac{\text{Zeichen}}{\text{sec}} = 250 \text{ Bauds}$$
$$= 125 \text{ Hertz Telegraphier-Grundfrequenz.}$$

[11]) Siehe z. B. ENT 5 (1928), S. 221.
[12]) K. Küpfmüller: „Über Pupinseekabel", ENT 4 (1927), S. 359.

Man wird zweckmäßig die eine Stammleitung für den Verkehr nach der einen Richtung und die andere für den Verkehr nach der entgegengesetzten Richtung verwenden, so daß die Gesamtleistung des Kabels für beide Richtungen zusammen 6000 Buchstaben in jeder Minute beträgt. Zum Vergleich wird bemerkt, daß diese Leistung das Vierfache der Leistung des neuen Telegraphenkabels Emden—Azoren—New-York beträgt.

Der Fernsprechstromkreis ist übrigens auch für die Bildtelegraphie geeignet; da seine elektrischen Eigenschaften denen der Landkabel des Fernsprechweitverkehrs im wesentlichen gleichen, erreicht man dieselbe Übertragungsgeschwindigkeit; die Übermittlungsdauer beträgt für 1 qdm hochwertiger Bilder (Rasterweite 0,2 mm) rund zwei Minuten. Für die Bildübertragung kommen in erster Linie die für den Fernsprechbetrieb weniger wertvollen Nachtstunden in Betracht. Es ist anzunehmen, daß der Kabelweg für die Bildübertragung dem Funkweg vorgezogen werden wird, da er eine vollkommen gleichmäßige und fehlerlose, von atmosphärischen Störungen und Schwunderscheinungen (fadings) freie Übertragung gewährleistet.

Ferner besteht die Möglichkeit, einen Teil des Frequenzbandes zwischen der oberen Grenze der übertragenen Sprechfrequenzen (2400 Hz) und der Grenzfrequenz der Leitung (4800 Hz) für Trägerstromtelegraphie auszunutzen. Jeder mit 300 Buchstaben des Fünferalphabets betriebene Kanal belegt nutzbar ein Frequenzband von 12,5 Hz. Hierzu tritt ein Zuschlag[13]) von etwa 75 vH wegen der Einschwingzeit der Siebe, und ein weiterer Zuschlag wegen der mit der Frequenz anwachsenden Phasenlaufzeit der Spulenleitung. Dieser Zuschlag wächst mit der Annäherung der Trägerfrequenz an die Grenzfrequenz und kann, reichlich gerechnet, zu etwa 40 vH veranschlagt werden. Demnachmuß für jeden Telegraphierkanal zu 300 Fünferzeichen ein übertragenes Frequenzband von $(1 + 0{,}75 + 0{,}40)\,12{,}5 = 27$ Hz vorgesehen werden. Der Abstand zweier Trägerfrequenzen muß natürlich wegen der begrenzten Selektivität der Siebe größer sein. Der erforderliche Zuschlag hängt von den Kosten ab, die man für die Siebe aufwenden will. Indessen sind diese Kosten im Vergleich zu den Kosten des Kabels zu vernachlässigen, so daß man mit genügender Sicherheit rechnet, wenn man unter der Voraussetzung hochwertiger Siebe den Abstand der Trägerfrequenzen mit 40 Hz annimmt. Beim Betrieb der Kanäle mit Start-Stop-Telegraphen kommt man auf 80 Hz[14]). Man sieht, daß sich theoretisch noch eine sehr große Anzahl von Telegraphierkanälen in dem Bereich oberhalb des Sprachfrequenzbandes unterbringen läßt. Ihre Anzahl wird praktisch durch zwei Umstände begrenzt: durch die mit der Frequenz ansteigende Leitungsdämpfung und durch die größte Stromstärke, mit der man die Pupinspulen im Kabel belasten darf, ohne Überlagerungsstörungen durch ungradlinige Verzerrung befürchten zu müssen. In dieser Beziehung steht es mit der Trägerstromtelegraphie ungünstiger als mit der im Unterlagerungsbereich zu verwendenden absatzweise arbeitenden Telegraphie, da sich bei jener, im Gegensatz zu dieser, die Stromstärken der einzelnen Kanäle algebraisch addieren. Daher wird die praktisch zulässige Anzahl der Trägerstrom-Telegraphierkanäle durch die Eigenschaften der Pupinspulen begrenzt[15]). Diese Zahl zu ermitteln, möge einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben.

6. Bemessung des Kabels.

Aus den vorhergehenden Ausführungen über die Konstruktion des Kabels, die elektrischen Eigenschaften und die Zahl der Stromkreise ergibt sich nunmehr die Bemessung des Kabels. Zur Unterbringung des papierisolierten Vierers mit 3,06 mm starken Leitern und 0,045 μF Betriebskapazität der zum Stern verseilten Stammleitungen muß das Hohlseil 15 mm lichte Weite erhalten. Bei 25 mm Außendurchmesser hat es dann die nötige Festigkeit. Darüber kommt ein 1,5 mm dicker Bleimantel. Die Bewehrung besteht aus 33 Stahldrähten von 2,5 mm Dicke, die auf 3,1 mm getapt sind (Abb. 10).

Das Kabel wiegt mit den Spulen rund 4250 kg/km in Luft und rund 3200 kg/km in Wasser. Bei 5000 m Meerestiefe wirkt auf das auslaufende Kabel ein Zug von 16 t.

[13]) F. Lüschen und K. Küpfmüller: Über die Wahl der Trägerfrequenzen für die Tonfrequenztelegraphie. ENT Bd. 4, S. 165, 1927.

[14]) H. Stahl, „Die Ausnutzungsmöglichkeiten einer Fernkabelader für Telegrahpie". TFT 18, S. 95, 1929; siehe besonders S. 99.

[15]) Unter Umständen kann es daher günstiger sein, das obere Frequenzband für einen Bildtelegraphiekanal zu benutzen, wobei die Übertragungsgeschwindigkeit bei gegebener Rasterweite dem verfügbaren Frequenzband anzupassen ist.

7. Einige Bemerkungen über die Wirtschaftlichkeit.

Angaben über die Wirtschaftlichkeit des neuen Kabels wird man mit einiger Zuverlässigkeit erst machen können, nachdem der Plan für eine bestimmte Verbindung in den Einzelheiten durchgerechnet sein wird. In Ermangelung näherer Unterlagen muß ich mich hier mit einigen allgemeinen Überlegungen begnügen, die teilweise auf Schätzungen beruhen und daher mit den entsprechenden Vorbehalten zu versehen sind.

Um von bekanntem Boden auszugehen, beginnen wir mit einem Vergleich des Papierkabels mit einem für Schnelltelegraphie geeigneten Guttaperchakabel mittelschweren Typs, d. h. mit einem neuzeitlichen Krarupkabel, etwa von der Art des Telegraphenkabels Emden — Azoren — New York. Wir haben bereits festgestellt, daß das Papierkabel mit der Unterlagerungstelegraphie allein im Vergleich zum Guttaperchakabel den vierfachen Verkehr bewältigt. Man kann annehmen, daß das Papierkabel ungefähr das Doppelte des Guttaperchakabels kosten wird. Das Papierkabel ergibt daher schon bei einem Verkehr auf der Unterlagerungstelegraphie, der nur die Hälfte des größtmöglichen beträgt, die gleiche Verzinsung wie das Guttaperchakabel bei seiner vollen Leistung.

Die Einnahmen aus dem Fernsprechbetrieb und aus der Bildübertragung, abzüglich der durch diese Betriebe entstehenden besonderen laufenden Ausgaben, sind mithin als eine reine Zusatzrente zu bewerten. Ihre Höhe läßt sich berechnen, wenn man den Umfang des Verkehrs und die Höhe der Gebühren kennt. Man wird annehmen dürfen, daß sich ein zur vollen Ausnutzung des Fernsprechstromkreises hinreichender Verkehr einstellen wird, wenn die Normalgebühr im Vergleich zu der gegenwärtig in der transatlantischen Funktelephonie nach Nordamerika geltenden Gebühr beträchtlich ermäßigt und außerdem die Gebühr nach dem Werte der verschiedenen Tagesstunden abgestuft wird; hierbei ist auch der Zeitunterschied zwischen Europa und Amerika zu beachten. Berechnungen, die man auf dieser Grundlage ausführt, ergeben, wie ich an anderer Stelle[16]) gezeigt habe, daß der Fernsprechbetrieb eine Zusatzrente in der Größenordnung von 8 bis 15 vH des Anlagekapitals verspricht.

Eine weitere sehr erhebliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ist von der am Ende des Abschnittes 5 erwähnten Trägerstromtelegraphie in dem Frequenzband oberhalb des Sprachbereiches zu erwarten. Ich möchte indessen bezüglich dieses Betriebsteiles noch keine Zahlen angeben, da nicht zu übersehen ist, ob genügend Verkehr vorhanden sein wird, um die volle Leistungsfähigkeit der Trägerstromkanäle überhaupt auszunutzen.

Es liegt in der Natur der Sache, daß die in diesem letzten Abschnitt über die Wirtschaftlichkeit gemachten Zahlenangaben keine weitere Bedeutung haben, als die zu erwartenden Größenverhältnisse ungefähr zu kennzeichnen. Sie dürften jedoch zur Genüge dartun, daß die wirtschaftlichen Aussichten eines Fernsprechkabels zwischen Europa und Amerika recht günstig zu beurteilen sind.

---

[16]) Sitzungsberichte der Preuß. Akademie der Wissenschaften, phys.-math. Klasse 1929, S. 119.

(Eingegangen am 10. April 1929.)